

TERMINALE SPÉCIALITÉ · PHYSIQUE-CHIMIE · CONSTITUTION ET TRANSFORMATIONS DE LA MATIÈRE · CHAPITRE 2



R. RINGUET · 2026 – 2027

Sujet type bac

Analyse par des méthodes physiques

Deux exercices indépendants : doser le paracétamol d'un comprimé, l'eau d'un adoucisseur

Durée : 1 h 30 · calculatrice autorisée · 2 exercices indépendants · barème sur 20

Nom : Prénom : Classe : Note : / 20

★ CONSIGNES

Les deux exercices sont indépendants et peuvent être traités dans l'ordre choisi par le candidat. La qualité de la rédaction, la rigueur scientifique et le respect des unités et des chiffres significatifs entrent pour une part importante dans l'appréciation des copies ; toute expression littérale est établie avant l'application numérique et toute démarche, même partielle, est valorisée. Formulaire : $\text{pH} = -\log \frac{[\text{H}_3\text{O}^+]}{c^\circ}$ • $A = \varepsilon \ell c$ • $\sigma = \sum_i \lambda_i [X_i]$ (λ_i en $\text{mS} \cdot \text{m}^2 \cdot \text{mol}^{-1}$, $[X_i]$ en $\text{mol} \cdot \text{m}^{-3}$) • écart normalisé $z = \frac{|x_{\text{mes}} - x_{\text{réf}}|}{u(x)}$, compatibilité admise si $z < 2$.

Exercice 1 Doser le paracétamol d'un comprimé

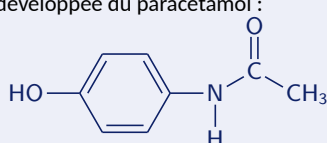
12 pts ●●●

Le paracétamol est l'analgésique le plus consommé en France. Un laboratoire de contrôle vérifie qu'un comprimé contient bien la masse annoncée sur la boîte, 500 mg. Cet exercice identifie d'abord la molécule par spectroscopie infrarouge, puis la dose par spectrophotométrie UV avant d'analyser la fiabilité du résultat.

■ **DONNÉES** $M(\text{paracétamol } \text{C}_8\text{H}_9\text{NO}_2) = 151,2 \text{ g} \cdot \text{mol}^{-1}$

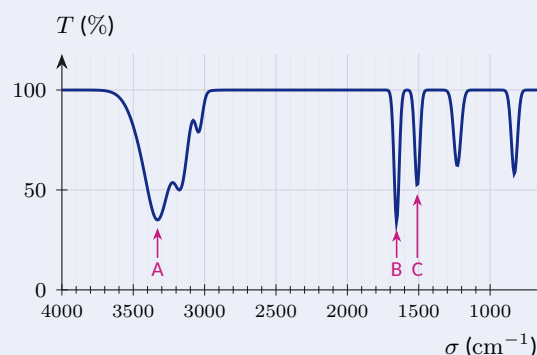
■ DOCUMENT 1 — La molécule de paracétamol et son spectre infrarouge

Formule semi-développée du paracétamol :

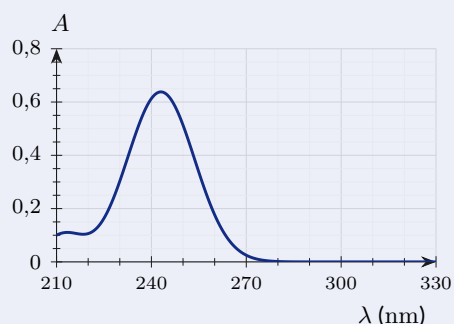


Bandes d'absorption caractéristiques en infrarouge :

liaison	σ (cm^{-1})
O - H alcool ou phénol	3200 - 3600 (large)
O - H acide carboxylique	2500 - 3200 (très large)
N - H amine ou amide	3100 - 3500
C = O amide	1630 - 1680
C = C cycle aromatique	1450 - 1600



DOCUMENT 2 — Spectre d'absorption UV et gamme étalon

Figure 1 — Spectre de la solution S_2

Le paracétamol n'absorbe que dans l'ultraviolet ; son coefficient d'absorption molaire vaut $\varepsilon = 9,80 \times 10^3 \text{ L} \cdot \text{mol}^{-1} \cdot \text{cm}^{-1}$ au maximum d'absorption. Cinq solutions étalons de titre massique t connu sont mesurées dans une cuve de 1,0 cm à cette longueur d'onde.

$t \text{ (mg} \cdot \text{L}^{-1})$	4,0	6,0	8,0	10,0	12,0
A	0,259	0,390	0,517	0,648	0,778

DOCUMENT 3 — Protocole et exploitation informatique

Un comprimé est broyé, dissous dans l'eau distillée, puis la solution est filtrée et complétée jusqu'au trait de jauge d'une fiole jaugée de 1,000 L : on obtient la solution S_1 . On prélève 10,0 mL de S_1 que l'on complète à 500,0 mL : on obtient la solution S_2 , dont le spectre est donné figure 1. Le programme ci-contre exploite la gamme étalon par la méthode des moindres carrés et affiche 0.0648 0.0.

```

1 t = [4.0, 6.0, 8.0, 10.0, 12.0]
2 A = [0.259, 0.390, 0.517, 0.648, 0.778]
3 N = len(t)
4 tm, Am = sum(t) / N, sum(A) / N
5 num = sum((t[i]-tm)*(A[i]-Am) for i in range(N))
6 den = sum((t[i]-tm)**2 for i in range(N))
7 k = num / den
8 print(round(k, 4), round(Am - k*tm, 4))

```

Partie A — Identifier la molécule

- 1.1 Recopier la formule semi-développée du paracétamol, puis entourer et nommer ses deux groupes caractéristiques.
- 1.2 Attribuer les bandes A, B et C du spectre infrarouge à l'aide du tableau du document 1.
- 1.3 Le spectre permet-il d'affirmer que l'échantillon ne contient pas d'acide carboxylique ? Justifier précisément.

Partie B — Doser le principe actif

- 1.4 Déterminer graphiquement, sur la figure 1, la longueur d'onde du maximum d'absorption et l'absorbance de la solution S_2 . Expliquer pourquoi une solution aqueuse de paracétamol est incolore.
- 1.5 Montrer que, pour un titre massique t exprimé en $\text{mg} \cdot \text{L}^{-1}$ et une masse molaire M en $\text{g} \cdot \text{mol}^{-1}$, la loi de Beer-Lambert s'écrit $A = kt$ avec $k = \frac{\varepsilon \ell \times 10^{-3}}{M}$. Calculer la valeur théorique de k et son unité.
- 1.6 Le programme du document 3 affiche 0.0648 0.0. Interpréter ces deux nombres et les comparer à la valeur théorique de k . Vérifier l'ordre de grandeur du premier en calculant A/t pour l'étalon à $8,0 \text{ mg} \cdot \text{L}^{-1}$.
- 1.7 Déterminer le titre massique en paracétamol de la solution S_2 , puis celui de la solution S_1 .
- 1.8 En déduire la masse de paracétamol contenue dans le comprimé. La comparer à l'indication de la boîte et calculer l'écart relatif.

Partie C — Analyser la fiabilité du résultat

- 1.9 L'incertitude-type sur la masse déterminée vaut $u(m) = 12 \text{ mg}$. Écrire le résultat sous la forme $m = (\dots \pm \dots) \text{ mg}$, calculer l'écart normalisé avec la valeur annoncée et conclure sur la conformité du comprimé.
- 1.10 La pharmacopée tolère un écart de 5 % au plus par rapport à la masse annoncée. Le comprimé satisfait-il à cette exigence ? Le résultat de la question 1.9 aurait-il permis de conclure si l'écart relatif avait été de 4 % ?
- 1.11 Justifier la nécessité de la dilution conduisant à S_2 : quelle absorbance aurait-on mesurée sur S_1 ? Pourquoi une telle mesure serait-elle inexploitable ?

- 1.12** Le comprimé contient aussi des excipients. Proposer un test simple permettant de vérifier qu'ils n'absorbent pas à la longueur d'onde de travail, et indiquer dans quel sens le résultat serait faussé si c'était le cas.

Exercice 2 L'eau d'un adoucisseur

8 pts ●●●

Un adoucisseur domestique remplace les ions calcium Ca^{2+} de l'eau par des ions sodium Na^+ , en respectant la neutralité électrique : chaque ion calcium retenu par la résine est remplacé par deux ions sodium. L'eau brute d'une habitation ne contient, en quantités notables, que des ions calcium et hydrogénocarbonate, tels que $[\text{Ca}^{2+}] = 2,50 \text{ mol} \cdot \text{m}^{-3}$ et $[\text{HCO}_3^-] = 5,00 \text{ mol} \cdot \text{m}^{-3}$. Son pH vaut 7,60.

■ **DONNÉES** $c^\circ = 1 \text{ mol} \cdot \text{L}^{-1}$ • $M(\text{Ca}) = 40,1 \text{ g} \cdot \text{mol}^{-1}$ • $M(\text{Na}) = 23,0 \text{ g} \cdot \text{mol}^{-1}$

■ DOCUMENT 4 — Le principe de l'adoucisseur, données et mesures

Conductivités molaires ioniques à 25 °C, en $\text{mS} \cdot \text{m}^2 \cdot \text{mol}^{-1}$: $\lambda(\text{Ca}^{2+}) = 11,9$ • $\lambda(\text{Na}^+) = 5,01$ • $\lambda(\text{HCO}_3^-) = 4,45$ • $\lambda(\text{H}_3\text{O}^+) = 35,0$.

Conductivités mesurées à 25 °C : eau brute $\sigma_b = 53,0 \text{ mS} \cdot \text{m}^{-1}$; eau adoucie $\sigma_a = 47,8 \text{ mS} \cdot \text{m}^{-1}$. L'incertitude-type sur chacune de ces mesures vaut $u(\sigma) = 0,5 \text{ mS} \cdot \text{m}^{-1}$.

La *dureté* d'une eau s'exprime en degrés français : 1 °f correspond à $4,0 \text{ mg} \cdot \text{L}^{-1}$ d'ions calcium ; une eau est dite douce en dessous de 15 °f et dure au-delà de 30 °f.

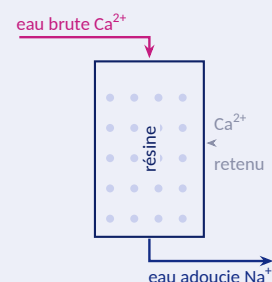


Figure 2 — Colonne échangeuse d'ions

- 2.1** Calculer la conductivité de l'eau brute prévue par la loi de Kohlrausch, en $\text{mS} \cdot \text{m}^{-1}$. Calculer l'écart relatif avec la valeur mesurée σ_b et commenter.
- 2.2** Calculer la concentration en ions oxonium de l'eau brute, puis sa contribution à la conductivité. Justifier qu'elle soit négligée.
- 2.3** Calculer la teneur en ions calcium de l'eau brute, en $\text{mg} \cdot \text{L}^{-1}$, puis sa dureté en degrés français. Cette eau est-elle dure ?
- 2.4** L'adoucisseur retient la totalité des ions calcium. Donner les concentrations des ions présents dans l'eau adoucie, puis calculer la conductivité prévue.
- 2.5** Comparer la valeur prévue à la mesure σ_a en calculant l'écart normalisé. Le modèle rend-il correctement compte de la mesure ?
- 2.6** La conductivité n'a diminué que d'environ 10 % alors que tout le calcium a disparu. Expliquer ce résultat, puis indiquer pourquoi une simple mesure de conductivité ne suffit pas à contrôler le bon fonctionnement d'un adoucisseur. Proposer une méthode d'analyse mieux adaptée au suivi des ions calcium.
- 2.7** L'adoucissement enrichit l'eau en ions sodium. Calculer la teneur en ions sodium de l'eau adoucie, en $\text{mg} \cdot \text{L}^{-1}$, et la comparer à la valeur maximale de $200 \text{ mg} \cdot \text{L}^{-1}$ recommandée pour une eau de boisson. Quelle recommandation peut-on formuler pour une personne suivant un régime pauvre en sel ?
- 2.8** Une autre habitation est alimentée par une eau de même composition qualitative (uniquement Ca^{2+} et HCO_3^- , avec $[\text{HCO}_3^-] = 2 [\text{Ca}^{2+}]$), de conductivité $88,0 \text{ mS} \cdot \text{m}^{-1}$. Établir l'expression de $[\text{Ca}^{2+}]$ en fonction de σ et des conductivités molaires ioniques, puis calculer la dureté de cette eau. Conclure sur l'intérêt d'y installer un adoucisseur.